

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-161522

(43) 公開日 平成7年(1995)6月23日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 F 6/04

H 0 1 L 39/04

識別記号

Z A A

Z A A

庁内整理番号

9276-4M

F I

技術表示箇所

H 0 1 F 7/22

Z A A G

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平5-307888

(22) 出願日 平成5年(1993)12月8日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 山本 広衛

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 岡田 定五

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 小村 昭義

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

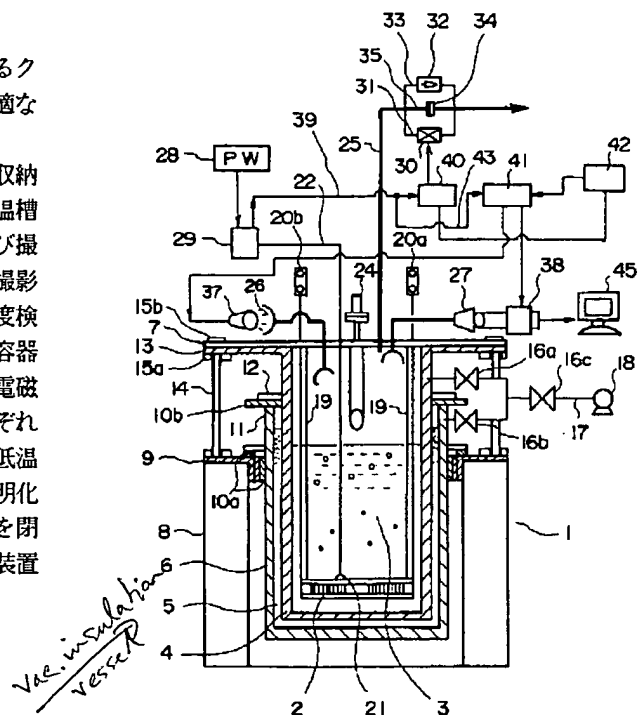
(74) 代理人 弁理士 鷗沼 辰之

(54) 【発明の名称】 超電導磁石用クライオスタット

(57) 【要約】

【目的】 超電導磁石を冷却媒体中に入れて収納するクライオスタットで、その内部の状態を撮影するに好適なクライオスタットを提供する。

【構成】 超電導コイル2を冷却媒体3中に入れて収納し、真空断熱容器5で囲われた低温槽容器4と、低温槽容器4を蓋する容器カバー7に設けた照明窓26及び撮影窓27と、それら窓に設置された照明器37及び撮影機38と、超電導コイル2の温度変化を検知する温度検出素子21及び温度検知装置29とを備え、低温槽容器4で発生する冷却媒体3の蒸発ガスの放出系として電磁開閉弁30、逆止弁32、安全弁34の一つをそれぞれ有する各管路を並列に設け、蒸発ガスを封じ込めて低温槽容器4内を加圧し、気泡立ち波立ちを抑制して鮮明化すべく、温度検知装置29の指令で電磁開閉弁30を閉止し、照明器37及び撮影機38を作動させる制御装置とを備える。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 超電導コイルを冷却媒体中に浸漬して収納する低温槽と、該低温槽の頂部を閉塞するカバーと、該カバーに設けられた照明窓と、該照明窓に向けて設置された照明器と、前記カバーに設けられた撮影窓と、該撮影窓に向けて設置された撮影機と、前記低温槽内から外へ前記カバーを貫通して延びる排気管と、該排気管に一端を接続しそれぞれが並列接続する、開閉弁を有する管路、大気圧より高い圧力で作動する逆止弁を有する管路および前記逆止弁より高い圧力でかつ急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、前記各管路の他端を大気圧環境中に開放してなる並列開放管路系と、前記開閉弁、前記照明器及び前記撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする超電導磁石用クライオスタット。

【請求項2】 超電導コイルを冷却媒体中に浸漬して収納する低温槽と、該低温槽の頂部を閉塞するカバーと、前記カバーに設けられた照明窓と、該照明窓に向けて設置された照明器と、前記カバーに設けられた撮影窓と、該撮影窓に向けて設置された撮影機と、前記低温槽内から外へ前記カバーを貫通して延びる排気管と、該排気管に一端を接続し大気圧より高い圧力で排気方向に開くように作動する第1逆止弁を有する管路と、該第1逆止弁を有する管路と並列接続され前記第1逆止弁より高い圧力で該第1逆止弁と逆方向に開くように作動する第2逆止弁を有する管路と、前記第1逆止弁を有する管路および前記第2逆止弁を有する管路それぞれの他端に接続するガスピットと、該ガスピットに一端を接続しそれぞれが並列に配置された、開閉弁を有する管路、前記第2逆止弁より高い圧力で排気方向に開くように作動する第3逆止弁を有する管路および前記第3逆止弁より高い圧力でかつ急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、前記開閉弁を有する管路、前記第3逆止弁を有する管路および前記安全弁を有する管路の他端を大気圧環境中に開放してなる並列開放管路系と、前記開閉弁、前記照明器及び前記撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする超電導磁石用クライオスタット。

【請求項3】 前記超電導コイルの温度を測定する温度検出素子と、該温度検出素子からの測定値を基に前記制御装置に動作指令を出す温度検知装置とをさらに設けたことを特徴とする請求項1または2記載の超電導磁石用クライオスタット。

【請求項4】 前記制御装置は前記温度検知装置からの動作指令によって前記開閉弁を閉じて所定時間後、前記照明器および前記撮影機を作動させることを特徴とする請求項3記載の超電導磁石用クライオスタット。

【請求項5】 超電導コイルを冷却媒体中に浸漬して収納する低温槽と、該低温槽の頂部を閉塞するカバーと、前記カバーに設けられた照明窓と、該照明窓に向けて設

2

置された照明器と、前記カバーに設けられた撮影窓と、該撮影窓に向けて設置された撮影機と、前記低温槽内から外へカバーを貫通して延びる排気管と、該排気管に一端を接続しそれぞれが並列に配置された、第1開閉弁を有する管路および急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、前記各管路の他端を大気圧環境中に開放してなる開放管路系と、前記排気管まで前記第1開閉弁とは開閉を逆動作させる第2開閉弁を介し、さらに前記安全弁より低い圧力で前記排気管方向に開くように作動する逆止弁を介して延びる加圧管路と、該加圧管路に前記冷却媒体と同種的气体を供給するガス供給系と、前記第2開閉弁と前記逆止弁との間で前記ガス供給系からのガスを冷却する冷却装置と、前記第1開閉弁、前記第2開閉弁、前記照明器および前記撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする超電導磁石用クライオスタット。

【請求項6】 超電導コイルを冷却媒体中に浸漬して収納する低温槽と、該低温槽の頂部を閉塞するカバーと、前記カバーに設けられた照明窓と、該照明窓に向けて設置された照明器と、前記カバーに設けられた撮影窓と、該撮影窓に向けて設置された撮影機と、前記低温槽内から外へカバーを貫通して延びる排気管と、該排気管と一端を接続し一部に螺旋配管部を有する管路と、該螺旋配管部を有する管路の他端に一端を接続しそれぞれが並列に配置された、第1開閉弁を有する管路および急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、前記第1開閉弁を有する管路および前記安全弁を有する管路の他端を大気圧環境中に開放してなる2並列開放管路系と、前記螺旋部を密閉して収納するタンクと、該タンクと前記排気管とを該排気管方向に開くように作動する逆止弁を介して接続する管路と、前記タンクに前記第1開閉弁とは開閉を逆動作する第2開閉弁を介して接続し前記冷却媒体と同種的气体を供給するガス供給系と、前記第1開閉弁、前記第2開閉弁、前記照明器および前記撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする超電導磁石用クライオスタット。

【請求項7】 前記超電導コイルの温度を測定する温度検出素子と、該温度検出素子からの測定値を基に前記制御装置に動作指令を出す温度検知装置とをさらに設けたことを特徴とする請求項5または6記載の超電導磁石用クライオスタット。

【請求項8】 前記制御装置は前記温度検知装置からの動作指令によって前記第1開閉弁を閉じかつ第2開閉弁を開けて所定時間後、前記照明器および前記撮影機を作動させることを特徴とする請求項3記載の超電導磁石用クライオスタット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、超電導磁石を冷却媒体中に浸漬して収納する超電導磁石用クライオスタットに

係り、特に超電導磁石および冷却媒体を可視化して撮影するに好適なクライオスタットに関する。

#### 【0002】

【従来の技術】超電導磁石となる超電導コイルは、一般に冷却媒体（液体ヘリウム）中で冷却されている。この超電導コイルが通電され磁界が生じている時に、超電導コイルの一部分にコイル導体の動いたり、含浸剤が破損する等の異常が発生すると、これらが熱擾乱となって超電導導体の一部が温度上昇し常電導転移、即ち、クエンチする。クエンチが発生するとコイルから大量の熱が発生し、冷却媒体が沸騰し、時にはその熱でコイルが溶融するなどの大事故につながる。そのために、超電導磁石ではこのクエンチを防止すること、また、その発生原因を解明することが重要な課題である。従来、クエンチを検知する方法としては、超電導導体に電圧端子を設け、クエンチ時に発生する電圧から検知する方法、または、超電導磁石の周辺にAE（アコースティックエミッション）センサーを取付け、センサー内の固体材料の変化、破壊に伴って開放されるエネルギーの弾性波から検知する方法等が用いられていた。その他、銅とコンスタンタンや金鉄とクロメル等の熱電対線を直接超電導導体に取付け、その熱起電力から測定する温度からクエンチを検知する方法がとられていた。しかし、いずれの方法にしても超電導コイルの状態を数値的に検知してクエンチを予測するもので、直接その状態を可視化して判断することはできなかった。

【0003】冷却媒体中の超電導コイルの可視化検知分析は、極低温という特殊な条件下での実施は非常に困難であった。一般的に水中に直にTVカメラを投入するか、あるいは気密容器内にTVカメラを配置して水中の懸濁物質を監視する監視装置は知られているが、超電導コイルは4.2Kという極低温の冷却媒体に浸漬されているため、その冷却媒体中や冷却媒体ガス層部にカメラを投入することは非常に困難である。ところで特開昭61-58219号公報には、超電導コイル表面に光ファイバーからなるイメージガイドを設置し、クエンチ時にコイル表面から発する冷却媒体の気泡を観察し、クエンチを検知するクライオスタットが開示されている。しかし、イメージガイドは視野が狭く、クエンチを判断するのに十分なデータが得られるとはいえなかった。なお、従来のクライオスタットで、外部に撮影機を備え、それにより内部の超電導コイルや冷却媒体の状態変化を可視化して観察できるものはなかった。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記のように従来技術は超電導コイルの状態を数値的に検知する方法であり、あるいは視野の狭い可視化装置であって、超電導コイルの状態を分析するのに十分なデータが得られなかった。また、従来の超電導磁石用クライオスタットに照明窓と撮影窓を設けて可視化撮影をしようすると、照明窓から

の照明により低温槽容器内に大量の熱が入射し、冷却媒体の蒸発気泡による液面の波立ちと蒸発ガスによって短時間で超電導コイルが見えなくなり撮影不能となる。また、液体ヘリウム等の冷却媒体は極めて高価であるため、その蒸発量を極力少なくすることも望ましく、超電導磁石の定常運転時には冷却媒体への熱侵入を防止し、蒸発ガスを抵抗なく排出し、超電導コイルに温度変化が生じても冷却媒体に熱振動を与えずに、低温槽容器内をいかに鮮明に保ち、クエンチ現象を可視化してとらえるかが問題である。

【0005】本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、超電導コイルを冷却媒体中に入れて収納する低温槽の内部を加圧し、冷却媒体中の蒸発気泡の発生および冷却媒体液面の波立ちを抑制することにより、低温槽容器内の視界を鮮明にし、現象撮影時間を長くできる超電導磁石用クライオスタットを提供することにある。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の第1の超電導磁石用クライオスタットは、超電導コイルを冷却媒体中に浸漬して収納する低温槽と、低温槽の頂部を閉塞するカバーと、カバーに設けられた照明窓と、照明窓に向けて設置された照明器と、カバーに設けられた撮影窓と、撮影窓に向けて設置された撮影機とを有し、さらに低温槽内から外へカバーを貫通して延びる排気管と、排気管に一端を接続しそれぞれが並列接続する、開閉弁を有する管路、大気圧より高い圧力で作動する逆止弁を有する管路および逆止弁より高い圧力でかつ急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、これら管路の他端を大気圧環境中に開放してなる並列開放管路系と、上記の開閉弁、照明器及び撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする。

【0007】また本発明の第2の超電導磁石用クライオスタットは、第1の超電導磁石用クライオスタットと同じく、超電導コイルを収納する低温槽をはじめ、低温槽のカバー、照明窓、照明器、撮影窓および撮影機と備え、そして低温槽内から外へカバーを貫通して延びる排気管と、排気管に一端を接続し大気圧より高い圧力で排気方向に開くように作動する第1逆止弁を有する管路と、第1逆止弁を有する管路と並列接続され第1逆止弁より高い圧力で第1逆止弁とは逆方向に開くように作動する第2逆止弁を有する管路と、第1逆止弁を有する管路および第2逆止弁を有する管路の他端に接続するガスビットと、ガスビットに一端を接続しそれぞれが並列に配置された、開閉弁を有する管路、第2逆止弁より高い圧力で排気方向に開くように作動する第3逆止弁を有する管路および第3逆止弁より高い圧力でかつ急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、開閉弁を有する管路、第3逆止弁を有する管路および安全弁

を有する管路の他端を大気圧環境中に開放してなる並列開放管路系と、上記の開閉弁、照明器及び撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする。

【0008】また、本発明の第3の超電導磁石用クライオスタットは、第1の超電導磁石用クライオスタットと同じく、超電導コイルを収納する低温槽をはじめ、低温槽のカバー、照明窓、照明器、撮影窓および撮影機と備え、そして低温槽内から外へカバーを貫通して延びる排気管と、排気管に一端を接続しそれぞれが並列に配置された、第1開閉弁を有する管路および急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路からなり、第1開閉弁を有する管路および安全弁を有する管路の他端を大気圧環境中に開放してなる開放管路系と、排気管まで第1開閉弁とは開閉を逆動作させる第2開閉弁を介し、さらに安全弁より低い圧力で排気管方向に開くように作動する逆止弁を介して延びる加圧管路と、加圧管路に冷却媒体と同種のガスを供給するガス供給系と、第2開閉弁と逆止弁との間でガス供給系からのガスを冷却する冷却装置と、上記の第1開閉弁、第2開閉弁、照明器及び撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする。

【0009】また本発明の第4の超電導磁石用クライオスタットは、第1の超電導磁石用クライオスタットと同じく、超電導コイルを収納する低温槽をはじめ、低温槽のカバー、照明窓、照明器、撮影窓および撮影機と備え、低温槽から外へカバーを貫通して延びる排気管と、この排気管と一端を接続し一部に螺旋配管部を有する管路と、螺旋配管部を有する管路の他端に一端を接続しそれぞれが並列に配置された、第1開閉弁を有する管路および急激な圧力上昇により作動する安全弁を有する管路の他端を大気圧環境中に開放してなる並列開放管路系と、螺旋配管部を密閉して収納するタンクと、タンクと排気管とをこの排気管方向に開くように作動する逆止弁を介して接続する管路と、タンクに第1開閉弁とは開閉を逆動作させる第2開閉弁を介して接続し冷却媒体と同種のガスを供給するガス供給系と、上記の第1開閉弁、第2開閉弁、照明器及び撮影機を操作する制御装置と、を備えたことを特徴とする。

【0010】そして、これら第1ないしこの第4の超電導磁石用クライオスタットには、第1の超電導磁石用クライオスタットにおけると同様に、超電導コイルの温度検出素子と、制御装置に動作指令を出す温度検知装置をもうけるのがよい。さらに、第1または第2の超電導磁石用クライオスタットでは、制御装置が温度検知装置からの動作指令で開閉弁を閉じて所定時間後に、照明器および撮影機を作動させるよう制御することが好ましい。また上記同様に、第3または第4の超電導磁石用クライオスタットでは、制御装置が温度検知装置からの動作指令で第1開閉弁を閉じかつ第2開閉弁を開けて所定時間後に、照明器および撮影機を作動させるよう制御するこ

とが好ましい。

【0011】

【作用】本発明の第1の超電導磁石用クライオスタットにおいて、超電導コイルを定常の超電導状態に維持しているとき、開閉弁は開いた状態にあり、低温槽内で発生する冷却媒体の蒸発ガスは排気管から開閉弁を有する管路を通して大気圧の外部に放出される。一方、安全弁と逆止弁は、閉じた状態である。このような時、低温槽内では、低温槽の壁から侵入する熱や超電導コイルを吊るすために槽のカバーと取り付けられたボルトから電導する熱、照明窓等から入射する光によって冷却媒体が蒸発してガスを発生し、また冷却媒体の波立ち、気泡立ちがあるが、蒸発ガスやそのゆらぎのために低温槽内の様子は不鮮明にしか見えない。

【0012】開閉弁を閉じると、低温槽内は大気圧から逆止弁の設定圧力までゆっくり上昇し、それにつれて液状の冷却媒体が加圧され、設定圧力に達した時に逆止弁が自動的に開放して蒸発ガスは逆止弁のある管路を通じて放出される。開閉弁が閉じてから、低温槽内の冷却媒体は大気圧からゆっくりと加圧され、この間、低温槽容器内の蒸発ガスの流動と冷却媒体の波立ち、気泡立ちが減少し、容器内が一段と鮮明になる。

【0013】もし超電導コイルが超電導状態から急激に温度上昇したり、あるいはクエンチを起こした時は、低温槽内の圧力が急激に上昇し、安全弁が開放してその管路から大量の蒸発ガスが放出される。

【0014】上記のように開閉弁を閉じて低温槽内が加圧された時に、照明器を点灯し撮影機を駆動することにより、超電導コイルや冷却媒体の状態を可視化撮影することができる。

【0015】また温度検出装置および温度検知装置を設けた場合、冷却媒体中の超電導コイルに温度変化が生じた時、温度検出素子は微小な温度変化を検知し、顕著に温度検知装置が温度検出素子の出力電圧を受けてそれにより動作指令を制御装置に送り、制御装置は開閉弁を閉止し、照明器と撮影機を作動させ、したがって超電導コイルがクエンチを始める前から発生状態まで鮮明に可視化撮影することができる。照明器を点灯させて一定時間後に撮影機を駆動させれば、それだけ照明器からの光量を減少でき、蒸発ガスの放出量を少なくできる。

【0016】本発明の第2の超電導磁石用クライオスタットは、第1の超電導磁石用クライオスタットにガスピットを設けたものであり、開閉弁を閉止して低温槽を加圧するとき、低温槽からの蒸発ガスは第1逆止弁からガスピットに入って圧力変動が吸収され、それから第2逆止弁を通じて低温槽に戻るため、低温槽の加圧を滑らかに行うことができる。その他の動作は第1の超電導磁石用クライオスタットと同様である。

【0017】本発明の第3及び第4の超電導磁石用クライオスタットは、基本的に第1の超電導磁石用クライオ

7

スタートにおいて加圧の際に用いる逆止弁に代えて、低温槽を加圧するための加圧ガスを供給するガス供給系を設け、さらに加圧ガスを冷却する冷却装置を設けたものであり、第1開閉弁(第1の超電導磁石用クライオスタートの開閉弁に当たる)を閉止して蒸発ガスの放出を止めると、同時に第2開閉弁が開き、ガス供給から、逆止弁を有する加圧管路をさらに排気管を介して、低温槽に加圧ガスが送りこまれ、低温槽が加圧されるようになる。したがって外部からのガスを加圧に利用することもできる。なお第4の超電導磁石用クライオスタートにおいては、低温槽から発生する低温の蒸発ガスを流す螺旋配管部と、ガス供給系から供給される加圧ガスを一時貯えるタンクと、から熱交換器を形成して、加圧ガスの冷却装置を構成している。本発明の第3及び第4の超電導磁石用クライオスタートは、上記のガス供給系、冷却装置を除けば、その動作の点で第1の超電導磁石用クライオスタートと同様である。

【0018】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基ずいて詳細に説明する。図1は本発明による第1実施例の超電導磁石用クライオスタートの全体構成を示す図である。

【0019】図1に示すように、本実施例の超電導磁石用クライオスタート1は、超電導コイル2を冷却媒体3中にを浸漬して収納する低温槽容器4と、この低温槽容器4の胴部の周囲に真空層または断熱層5を形成して低温槽容器4を収納する真空断熱容器6と、低温槽容器4の上部を蓋する容器カバー7と、真空断熱容器6を支持する架台8等の他、低温槽容器4内で発生する冷却媒体ガスの排出機構と、低温槽容器4内を撮影する撮影機構とから構成されている。

【0020】真空断熱容器6は、その胴の外周に設けたフランジを架台8上端部の円形ガイド9上に緩衝体10aを介して載せて設置され、また低温槽容器4は、その胴部に設けた突起部12を真空断熱容器6の上端部11上に緩衝体10bを介して載せて設置されている。さらに低温槽容器4の上端から外方に張り出すフランジ13及びその上に設置された容器カバー7は、架台8の円形ガイド9とボルト14やナット15a、15bにより一体に強固に固定されている。また低温槽容器4および真空断熱容器6それぞれの容器壁は、図示はしないが、二重壁からなり、二重壁中の空間は真空層を形成する。低温槽容器4および真空断熱容器6の真空層はそれぞれ開閉バルブ16a、16bを介し、さらに開閉バルブ16cを介して、真空排気配管17により真空排気装置18に接続されている。

【0021】容器カバー7には低温槽容器4内の超電導コイル2を支持する吊りボルト19が取り付けられ、また容器カバー7を貫通して、超電導コイル2に通電するためのパワーリード20a、20b、超電導コイル2の温度変化を検知する温度検出素子21からの計測信号線2

8

2が設けられている。その他、容器カバー7を貫通して、冷却媒体注入口24、冷却媒体3の蒸発ガスを排出する排気管25、照明窓26、そして撮影窓27が設けられている。そしてこれらリード、機器類は容器カバー7に真空シールされて取り付けられている。

【0022】低温槽容器4の外側には、低温槽容器4内の超電導コイル2に取り付けられた温度検出素子21から外まで伸びる計測信号線22に接続され電源28を有する温度検知装置29を設け、また排気管25に接続し、電磁開閉弁30を備えた封止開放管路31、逆止弁32を備えた設定開放管路33および破壊式安全弁34を備えた異常開放管路35を並列に配して構成した並列開放系36を設け、また照明窓26には照明器37を、撮影窓27に撮影機38を配置している。これら照明器37、撮影機38は、超電導コイル2の温度変化を検出する温度検知装置29の信号により封止開放管路31の電磁開閉弁30と連動するように電気的に接続されている。

【0023】以上のように、第1実施例の超電導磁石用クライオスタート1は、排気管25に、電磁開閉弁30を備えた封止開放管路31と、所定圧力で冷却媒体ガスを回収する方向に開放する逆止弁32を備えた設定開放管路33と、急激な圧力変化により内部の薄板が破壊または変形して開放する破壊式安全弁34を備えた異常開放管路35とを並列に接続してなる並列開放系36とを設けたこと、そして並列開放系36に設けた電磁開閉弁30を動作させる操作装置40と、照明器37および撮影機38と駆動操作する駆動操作回路41とを、超電導コイル2の温度変化を検知する温度検知装置29の信号により連動するようにしたこと特徴がある。

【0024】また、本実施例では上記のように温度検知装置29の信号により連動操作する内圧操作回路39とは別に、超電導コイル2の温度変化に関係なく冷却媒体3中の超電導コイル2の状態や冷却媒体3の蒸発気泡を観察するために、電磁開閉弁30の操作装置40と照明器37、撮影機38の駆動操作装置41の撮影操作回路43を温度検知装置29から離し、操作装置40と駆動操作装置41の電源を別の専用の電源装置42から引込み、電磁開閉弁30と照明器37、撮影機38を駆動させるようにした。かくして任意の時に電磁開閉弁30を閉止することにより低温槽容器4内を加圧して、冷却媒体3や超電導コイル2の状態をみることができる。

【0025】次に本実施例の超電導磁石用クライオスタート1の駆動操作を説明する。超電導コイル2が正常に超電導状態を保つ場合、低温槽容器4内の冷却媒体3は冷媒断熱層5から侵入する熱や、吊りボルト19、パワーリード20a、20bから熱伝導により侵入する熱、照明窓26からの輻射熱等により、冷却媒体3の蒸発ガスが生じ、この蒸発ガスは排気管25から電磁開閉弁30を有する封止開放管路31を通過して大気中に放出され

る。封止開放管路31の電磁開閉弁30を開放にし、照明窓26の照明器37を点灯、または自然光を入射して撮影窓27から低温槽容器4内を観察すると、冷却媒体3中の超電導コイル2や吊りボルト19あるいは計測信号線22等から侵入した熱による気泡立ち、冷却媒体3の表面の波うち等が確認できる。

【0026】封止開放管路31の電磁開閉弁30を全閉にし、並列開放系36のうちの設定開放管路33の逆止弁32から蒸発ガスを放出させようとする、逆止弁32の開放圧力を大気圧より少し高い圧力(0.02kg/cm<sup>2</sup>程度)に設定してあるので、その設定圧力まで低温槽容器4は密封状態となり、低温槽容器4の内圧は蒸発ガスにより徐々に上昇する。この間、冷却媒体3の気泡立ちや波立ちが一時的に解消され、冷却媒体3中の超電導コイル2の画像が揺れてみえたり、明暗が生じたりすることなく、鮮明に観察できることが確認できる。

【0027】そして、逆止弁32の設定圧力まで内圧が上昇し逆止弁32が開放されても、冷却媒体3の蒸発気泡は急激に蒸発することなく、徐々に上昇して行くので、低温槽容器4の内部を長時間に渡って鮮明に観察できる。

【0028】以上、通常の蒸発ガスの観察について述べたが、急激な発生状況においても、その発生開始から大量の蒸発ガス発生まで鮮明にとらえることができる。例えば、照明器37からの入射光が強すぎて、あるいは超電導コイル2の通電電流が高くて熱エネルギーが大きくなり、クエンチ等を発生した場合でも、冷却媒体3中の気泡の立ち具合を、低温槽容器4内のある設定圧力になるまで、小さな気泡から大きな気泡になるまで長時間鮮明に観察できる。特に、超電導コイル2特有の現象、つまりクエンチ発生時の気泡より早く発生するクエンチ時の伝播模様の現象(冷却媒体中を衝撃的にエネルギーが伝播する)を観察できる。したがって効果的な超電導磁石用クライオスタットを実現できる。

【0029】また、上記では封止開放管路31の電磁開閉弁30と、照明器37、撮影機38をそれぞれ単独で操作して蒸発ガスの発生状態を観察する要領を説明したが、この電磁開閉弁30、照明器37、撮影機38等を超電導コイル2の温度変化を検知する温度検知装置29と電気的に接続し、自動的に駆動操作することもできる。この場合、排気管25に続く電磁開閉弁30や逆止弁32、安全弁34等で形成する並列開放系36自体の機能は前記と同じであるが、照明器37と撮影機38を先に設定し、温度検知装置29からの検知信号で、電磁開閉弁30の操作装置40を有した内圧操作回路39と、照明器37と撮影機38を操作する駆動操作装置41を備えた撮影操作回路43を並列に操作することにより、冷却媒体3の蒸発量を抑制し敏速に撮影できるので、画像処理装置45における画面を一段と鮮明にできる。しかも低温槽容器4内が加圧されて視界が鮮明にな

るまでの時間を予め設定しておき、電磁弁30を閉じてからその設定時間後に、照明器37、撮影機38を作動させることにより、低温槽容器4内の照明は必要な時だけ自動的に照明できることから、外部からの熱侵入量を最少限に抑えることができ、冷却媒体3の消費量低減を図ることもできる。

【0030】また、超電導コイル2の温度変化を検知して低温槽容器4内の内圧を調節するので、気泡発生の非常に少ない通常の状態に近い状態から観察でき、可視化撮影後の現象分析が容易になる等、超電導磁石装置の可視化撮影分析あるいは監視装置に好適な超電導磁石用クライオスタット1を実現できる。

【0031】次に、本発明の第2実施例を図2を用いて説明する。本実施例は、図1に示す第1実施例の超電導磁石用クライオスタット1における排気管25と並列開放系36との間に、排気管25に続いて逆止弁46を有する放出管路47と別の設定逆止弁48を有する昇圧管路49とを並列に設け、さらに放出管路47及び昇圧管路49に配管接続する加圧緩衝ガスピット50を配置して、構成されている。放出管路47の逆止弁46は、超電導コイル2が超電導状態にある通常圧力の低温槽容器4からの蒸発ガスを放出する大気圧の逆止弁である。一方、昇圧管路49の設定逆止弁48は、放出管路47の逆止弁46より高い圧力で、かつ並列開放系36にある逆止弁32より低い圧力で開動作して、加圧緩衝ガスピット50側から排気管25に向かってガスを流す。本実施例の構成は、上記の逆止弁46、設定逆止弁48および加圧緩衝ガスピット50を含む回路以外は、第1実施例と同じであるので説明を省略する。

【0032】第2実施例の超電導磁石用クライオスタットにおいて、封止開放管路31の電磁開閉弁30を閉止した場合、低温槽容器4内で冷却媒体3が緩やかに加圧されるため、蒸発ガスに振動を与えることなく、そして冷却媒体3中の気泡立ちや蒸発ガスの増加を遅らせ、鮮明度の保持時間を長くすることができる。つまり、並列開放系36の手前に加圧緩衝ガスピット50を設けて加圧緩衝ガスピット50の内容積分だけ内圧上昇を遅くし、逆止弁32の設定圧力まで逆止弁48を開にして昇圧管路49と放出管路47でガスを循環させ、時間をかけ緩やかに昇圧できる。本実施例によれば、超電導コイル2の現象を可視化撮影する時、第1実施例より長時間その対象の鮮明度を保持できるクライオスタットを実現する。

【0033】図3に本発明の第3実施例の超電導磁石用クライオスタットを示す。第1及び第2実施例では、低温槽容器4内を加圧する加圧ガスとして低温槽容器4に貯蔵した冷却媒体3の蒸発ガスを利用したが、第3実施例では、低温槽容器4内を加圧するために外部から供給するガスを利用する。第3実施例では、低温槽容器4からの蒸発ガスを放出する排気管25の下流側の一部を螺

## 11

螺旋配管54に形成し、それに続けて、安全弁34と電磁開閉弁30とを並列配置してなる開放系53を設けている。さらに、螺旋配管54部分を密閉して収納する予冷ガスタンク55を設けており、この予冷ガスタンク55には電磁バルブ57を介して加圧配管58aにより接続された加圧用ガスボンベ56が接続され、また予冷ガスタンク55から設定逆止弁61を通じて排気管25上流側に接続する加圧配管58bを設けている。また予冷ガスタンク55に安全弁59を設けている。

【0034】このように排気管25下流に開放系53、予冷ガスタンク55、加圧用ガスボンベ56等を備えた第3実施例の超電導磁石用クライオスタットは次のように動作する。低温槽容器4が定常状態にあるとき、冷却媒体3の蒸発ガスは排気管25から螺旋配管54を通り、さらに電磁開閉弁30を有する開放系53から外部に放出するか、あるいは回収される。この時予冷ガスタンク55内は常に螺旋配管54を流れる蒸発ガスで冷却される。加圧用ガスボンベ56に接続する電磁バルブ57は開放系53の電磁開閉弁30とは逆の動作をする、つまり電磁開閉弁30が閉止すると、電磁バルブ57が開いて加圧用ガスボンベ56から予冷ガスタンク55に加圧ガスが充填されるようになっている。予冷ガスタンク55に充填したガスは、ある一定圧力になり次第、設定逆止弁61から加圧配管58bを介して排気管25に流入し、加圧ガスとして低温槽容器4内を加圧する。ところで何らかの現象で低温槽容器4内が急激に圧力上昇すると、蒸発ガスは排気管25から螺旋配管54を経て開放系53の安全弁34から外部に放出される。また加圧配管58bを介して設定逆止弁61から吐出するよりも早く予冷ガスタンク55内が圧力上昇したときには、内部の充填ガスは安全弁59から外部に放出される。また、加圧用ガスボンベ56から予冷ガスタンク55に充填されたガスは、通常設定逆止弁61の設定圧力以内に充填され、大気圧で放出される冷却媒体3の蒸発ガスによって螺旋配管54において冷却される。第3実施例の超電導磁石用クライオスタットは、上記説明した排気管25下流の構成以外については第1実施例と同様に構成されているので説明を省略する。

【0035】低温槽容器4内に配置された超電導コイル2に変化が生じ、それを検知した温度検知器29の信号により開放系53の電磁開閉弁30が閉止されると、加圧配管58aの電磁バルブ57が開き、加圧用ガスボンベ56からのガスで予冷ガスタンク55が加圧される。予冷ガスタンク55が加圧されると、ある設定圧力以上の分だけ、加圧配管58bの設定逆止弁61から排気管25を介して低温槽容器4内が加圧されるようになっている。このように、蒸発ガスの排気管25から逆に低温槽容器4にガスを供給して加圧する機構を設けても、第1、第2の実施例と同様に、低温槽容器4内の鮮明度を保つ時間を拡大できるほか、蒸発気泡の立ち具合

## 12

に応じた内圧調節を容易に行うことができる。また、加圧時の圧力調節ができ、超電導コイル2の可視化撮影時の蒸発気泡立ちに対する撮影タイミングの調節が容易になる等、効果的な超電導磁石装置のクライオスタットを構成することができる。

【0036】また、上記各実施例では、一般的なライト照明や自然光を集光した照明による可視化撮影時の低温槽容器4の加圧構成について記述してきたが、このような可視化撮影の他、照明窓26からレーザー光を照射し、撮影窓27あるいは側面にスリットを設けて、そのスリットから反射光を観察する、レーザー光線による現象解明にも効果的であることが確認できた。

## 【0037】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、第1及び第2の各超電導磁石用クライオスタットは、超電導コイルを冷却媒体に入れて収納する低温槽で発生する蒸発ガスを封止して低温槽を加圧するように構成したので、低温槽内での冷却媒体の蒸気の泡立ちや液面上の波立ちを抑制し、ガス濃度を低減できるので、低温槽内を鮮明に保つ時間を長くすることができ、超電導コイル2の現象可視化撮影に適したクライオスタットを得ることができる効果がある。

【0038】また第3及び第4の各超電導磁石用クライオスタットは、超電導コイルを冷却媒体に入れて収納する低温槽で発生する蒸発ガスを封止すると共に、外部からガスを供給して低温槽を加圧するように構成したので、上記と同様の効果がある。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の超電導磁石用クライオスタットの全体構成図である。

【図2】本発明の第2実施例における冷却媒体の蒸発ガスを排出する並列開放系を示す図である。

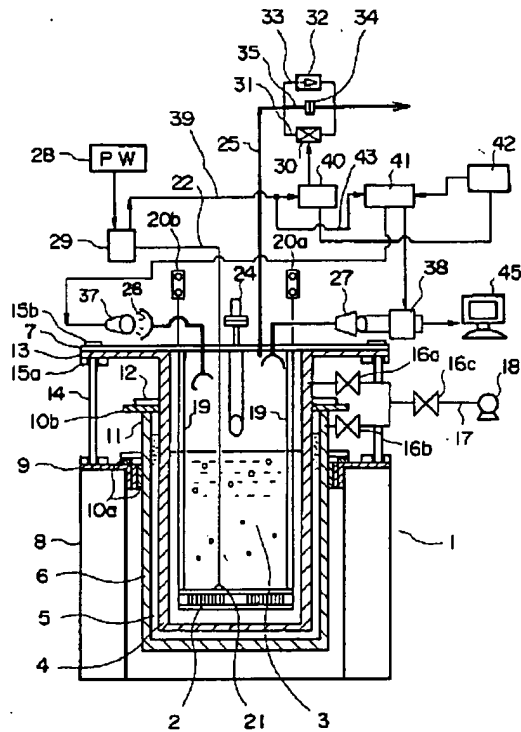
【図3】本発明の第3実施例における冷却媒体の蒸発ガスの開放系および低温槽容器内の加圧系を示す図である。

## 【符号の説明】

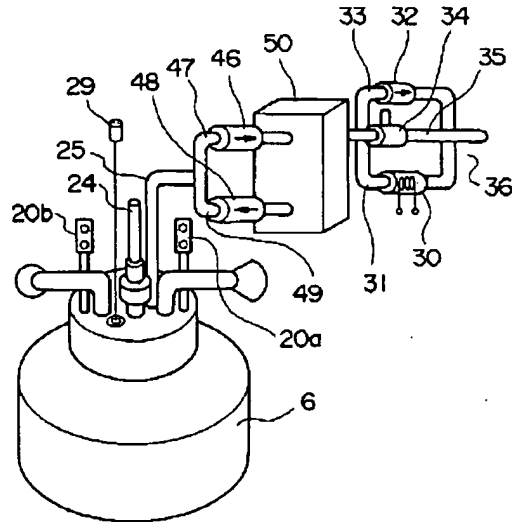
1 超電導磁石用クライオスタット	2 超電導コイル
3 冷却媒体	4 低温槽容器
5 断熱層	6 真空断熱容器
7 容器カバー	8 架台
9 円形ガイド	10a、10b 緩衝体
11 上端部	12 突起部
13 フランジ部	16a、16b、16c 開閉バルブ
17 真空排気配管	18 真空排気装置
19a、19b 吊りボルト	20a、20b パワーリード
21 温度検出素子	22 計測信号線

1 3		1 4	
24 冷却媒体注入口	25 排気管	42 電源装置	43 撮影操作回
26 照明窓	27 撮影窓	路	
28 電源	29 温度検知装	45 画像処理装置	46 大気圧の逆
置		止弁	
30 電磁開閉弁	31 封止開放管	47 放出管路	48 設定逆止弁
路		49 昇圧管路	50 加圧緩衝ガ
32 逆止弁	33 設定排気管	スビット	
路		53 開放系	54 螺旋配管
34 破壊式安全弁	35 異常開放管	55 予冷ガスタンク	56 加圧用ガス
路		10 ボンベ	
36 並列開放系	37 照明器	57 電磁バルブ	58a、58b 加
38 撮影機	39 内圧操作回	圧配管	
路		59 安全弁	61 設定逆止弁
40 操作装置	41 駆動操作装	62 温度検知器	
置			

【図1】



【図2】







PAT-NO: JP407161522A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07161522 A  
TITLE: CRYOSTAT FOR SUPERCONDUCTING MAGNET  
PUBN-DATE: June 23, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME  
YAMAMOTO, HIROE  
OKADA, TEIGO  
KOMURA, AKIYOSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	N/A

APPL-NO: JP05307888

APPL-DATE: December 8, 1993

INT-CL (IPC): H01F006/04, H01L039/04

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a cryostat for containing a superconducting magnet immersed into a cooling medium and having such structure as suitable for photographing the internal state.

CONSTITUTION: The cryostat for superconducting magnet comprises a low temperature vessel 4 surrounded by a vacuum thermal insulation vessel 5 in order to contain a superconducting coil 2 immersed into a cooling medium 3, an illumination window 26 and a photographing window 27 made through a cover 7 for the low temperature vessel 4, an illuminator 37 and a photographing unit 38 installed at respective windows, a temperature detecting element 21 and a temperature detector 29 for detecting temperature variation of the

superconducting coil 2. Pipe lines provided, respectively, with a solenoid ON/OFF valve 30, a check valve 32, and a safety valve 34 are also installed in parallel and a controller closes the valve 30 based on a command received from the detector 29 in order to increase the pressure in the vessel 4 by blocking the evaporated gas and to retard bubbling thus clarifying the interior before the illuminator 37 and the photographing unit 38 are actuated.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO